

燃料電池システムおよびその駆動方法

発明の背景

発明の分野

本発明は、燃料電池自動車等に用いられる燃料電池システムおよびその駆動方法に関するものである。

本出願は、2002年11月15日に出願された日本国特願2002-332183に基づく優先権を主張し、その内容を含むものとする。

背景技術

燃料電池自動車等に搭載される燃料電池には、固体高分子電解質膜の両側にアノードとカソードとを備え、アノードに燃料ガス（例えば水素ガス）を供給し、カソードに酸化剤ガス（例えば酸素あるいは空気）を供給して、これらガスの酸化還元反応にかかる化学エネルギーを直接電気エネルギーとして抽出するようにしたものがある。

燃料電池のアノードから排出されるアノードオフガス（以下、水素オフガスという）には未反応の水素ガスが含まれており、これをそのまま放出したのでは燃費が悪化してしまう。そこで、燃費向上のため、この水素オフガスを積極的に循環させ、新鮮な水素ガスと混合して再度燃料電池に供給する燃料電池システムが提案されている。

例えば、特開昭58-30075号公報には、エゼクタ（エゼクタポンプ）を用いて水素オフガスを循環させ、該水素オフガスを再度燃料電池に供給する燃料電池システムが開示されている。

また、特開平7-240220号公報には、水素ガスの循環流路にポンプまたはコンプレッサを設けて、該ポンプやコンプレッサにより水素ガスをリサイクルさせる燃料電池システムが開示されている。

しかしながら、上述したエゼクタを用いる燃料電池システムにおいては、前記燃料電池の始動時に不具合がある。すなわち、前記エゼクタにより水素ガスを循環させるには、前記エゼクタの設けられた循環流路に水素ガスの流れが必要であ

るため、燃料電池の始動時などの水素ガスの流れのない場合においては、循環流路に強制的に水素ガスの流れを作り出す必要がある。この流れを作り出すために、水素ガス循環流路からのパージを行うと、循環流路から未反応の水素ガスが排出されてしまうため却って燃費が悪化してしまうという問題があった。

また、上述したポンプやコンプレッサを設ける燃料電池システムにおいては、水素ガスの循環中は前記ポンプやコンプレッサの運転を継続させる必要があるため、このポンプやコンプレッサの運転に必要な電力が継続して消費され、その分燃費が悪化してしまうという問題があった。

発明の要旨

本発明は、上述した事情に鑑みてなされたものであって、燃料ガスを有効利用することができ、燃費を向上できる燃料電池システムおよびその駆動方法を提供することを目的としている。

上記目的を達成するために本発明は、燃料ガスと酸化剤ガスとを供給されて発電を行う燃料電池と、前記燃料電池に燃料ガスを供給する燃料ガス供給流路と、前記燃料電池から排出される燃料オフガスを前記燃料ガス供給流路に戻す燃料オフガス循環流路と、流体の流れによるエネルギーで駆動され、前記燃料ガス供給流路に設けられ前記燃料オフガス循環流路の燃料オフガスを燃料ガス供給流路に送り込むエゼクタと、回転機により駆動され、前記燃料オフガス循環流路または燃料ガス供給流路の前記エゼクタ下流側に設けられて燃料オフガスを昇圧する燃料ポンプと、前記燃料オフガスを前記燃料オフガス循環流路から排出する排出弁と、前記燃料ポンプ及び前記排出弁に対して操作可能に接続された制御装置と、を備えた燃料電池システムを提供する。

この燃料電池システムによれば、燃料電池始動時などの前記循環流路に流れのない場合においても、前記排出弁を閉じた状態で燃料ポンプを駆動することにより、オフガス中の未反応の燃料ガスを前記燃料電池に供給することができる。また、前記ポンプを駆動することにより循環流路に燃料ガスの流れを一旦作り出せば、前記エゼクタにより前記循環流路の燃料オフガスを燃料ガス供給流路に送り込むことが可能となる。このように、前記ポンプは燃料ガスの流れを作り出せる

ものであれば十分であるため、サイズの小型化を図ることができ、前記ポンプの運転に必要な電力を低減させることができる。これにより、燃料電池の始動時などの前記循環流路に流れのない場合においても、燃料ガスを外部に放出することなく有効利用することができ、燃費を向上できる。

上記燃料電池システムは、前記燃料電池を構成するセルの電圧を検出するために設けられ前記制御装置に接続された電圧検出手段をさらに備えていてもよい。前記制御装置は、前記電圧検出手段にて検出したセルの電圧に基づいて、前記排出弁を開閉制御するように構成されていることが好ましい。

この燃料電池システムによれば、前記電圧検出手段により検出したセルの電圧によりオフガス中の燃料濃度が推定され、該燃料濃度が所定値よりも高いと推定された場合には排出弁を閉じてオフガスを循環させるとともに、燃料濃度が所定値よりも低いと推定された場合には排出弁を開いてオフガスを排出することができる。これにより、オフガス中の燃料を有効利用できるとともに、オフガス中の燃料濃度が所定値より高い場合にのみ前記ポンプを駆動できるため、前記ポンプの駆動に必要な電力を低減でき、効率的な運転を行うことができる。

上記燃料電池システムは、前記燃料ポンプの負荷状態を検出するために設けられ前記制御装置に接続された負荷状態検出手段をさらに備えていてもよい。前記制御装置は、前記負荷状態検出手段にて検出した負荷状態に応じて、前記排出弁を開閉制御するように構成されていることが好ましい。

この燃料電池システムによれば、前記負荷状態検出手段により検出した燃料ポンプの負荷状態に応じて、燃料オフガス中の不純ガス（燃料ガス以外のガスであり、主に窒素ガス）の濃度を推定することができる。これにより、不純ガスの濃度が所定の濃度になった場合に排出弁を開くように制御することで、不純ガスの濃度の高いオフガスをパージすることができ、このパージにより、不純ガスがもたらす高い負荷状態を低減することができるため、燃料ポンプを好適に保護することができる。

本発明はまた、燃料ガスと酸化剤ガスとを供給されて発電を行う燃料電池と、前記燃料電池に燃料ガスを供給する燃料ガス供給流路と、前記燃料電池から排出される燃料オフガスを前記燃料ガス供給流路に戻す燃料オフガス循環流路と、流

体の流れによるエネルギーで駆動され、前記燃料ガス供給流路に設けられ前記燃料オフガス循環流路の燃料オフガスを燃料ガス供給流路に送り込むエゼクタと、回転機により駆動され、前記燃料オフガス循環流路または燃料ガス供給流路の前記エゼクタ下流側に設けられて燃料オフガスを昇圧する燃料ポンプと、前記燃料オフガスを前記燃料オフガス循環流路から排出する排出弁と、前記燃料ポンプ及び前記排出弁に対して操作可能に接続された制御装置と、を備えた燃料電池システムのための駆動方法を提供する。この駆動方法は、前記燃料電池の始動時に前記排出弁を閉鎖する段階と、前記排出弁が閉鎖状態にあるときに前記燃料ポンプを駆動する段階と、を含む。

この駆動方法によれば、エゼクタのみでは循環流路に流れがない少なくとも始動時において、前記排出弁を閉じた状態として燃料ポンプを駆動することにより、排出弁を開いて循環流路に流れを起こすことによる無駄な燃料排出を抑え、燃料を有効に利用することができる。この駆動方法を燃料電池システムが搭載された車両に用いれば、燃料の有効利用により燃費を向上させることができる。

上記駆動方法はさらに、前記燃料電池の始動後所定時間経過時点において、電圧検出手段にて検出したセル電圧が所定値以下である場合に前記排出弁を開弁する段階と、前記排出弁の開弁後、前記セル電圧が前記所定値を超えた場合に前記排出弁を閉鎖する段階と、を含んでいてもよい。

上記駆動方法はまた、前記燃料電池の始動後所定時間経過時点において、窒素濃度検出手段にて検出した窒素濃度が所定値以上である場合に前記排出弁を開弁する段階と、前記排出弁の開弁後、電圧検出手段にて検出したセル電圧が所定値を超えた場合に前記排出弁を閉鎖する段階と、を含んでいてもよい。

前記窒素濃度検出手段は、前記燃料ポンプの負荷状態を検出する負荷状態検出手段により構成することができる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明による燃料電池システムの第1実施形態を示す概略構成図である。

図2は、本発明による燃料電池システムの第2実施形態を示す概略構成図であ

る。

図 3 は、本発明による燃料電池システムの第 3 実施形態を示す概略構成図である。

図 4 は、図 1 に示した燃料電池システムの始動時における制御を示すフローチャートである。

図 5 は、図 1 に示した燃料電池システムの始動時における他の制御を示すフローチャートである。

図 6 は、図 1 に示した燃料電池システムの始動時における他の制御を示すフローチャートである。

図 7 は、図 6 の制御に使用される窒素濃度と水素ポンプ消費電流の関係を示すグラフである。

発明の詳細な説明

初めに、この発明に係る燃料電池システムの第 1 実施形態を図 1 の図面を参照して説明する。

図 1 は、第 1 実施形態における燃料電池システムの概略構成図である。

燃料電池 1 は、例えば固体ポリマーイオン交換膜等からなる固体高分子電解質膜をアノードとカソードとで両側から挟み込んで形成されたセルを複数積層して構成されたスタックからなり、アノードに燃料として例えば水素ガスを供給し、カソードに酸化剤として酸素を含む空気を供給すると、アノードで触媒反応により発生した水素イオンが、固体高分子電解質膜を通過してカソードまで移動して、カソードで酸素と電気化学反応を起こして発電し、水が生成される。なお、カソード側で生じた生成水の一部は固体高分子電解質膜を介してアノード側に逆拡散するため、アノード側にも生成水が存在する。

空気はコンプレッサ 2 により所定圧力に昇圧され、燃料電池 1 のカソードに供給される。この空気は発電に供された後、燃料電池 1 のカソードから空気オフガスとして排出され、圧力制御弁 3 を介して排出される。

一方、高圧水素タンク 4 から供給される水素ガスは、圧力制御弁 5 およびエゼクタ 6 を備えた水素ガス供給流路 10 を通り、圧力制御弁 5 で所定圧力に減圧さ

れて燃料電池 1 のアノードに供給される。前記エゼクタ 6 は、流体（この場合は水素ガス）の流れによるエネルギーで駆動される。

燃料電池 1 に供給された水素ガスは発電に供された後、未反応の水素ガスが水素オフガスとして燃料電池 1 のアノードから水素オフガス循環流路 20 に排出される。水素オフガス循環流路 20 は、エゼクタ 6 の吸込側に接続されており、水素オフガス循環流路 20 の途中には水素ポンプ 7 が設けられている。前記水素ポンプ 7 は、電動モータやタービン等の回転力を発生する回転機により駆動される。燃料電池 1 のカソードから排出された水素オフガスは、水素ポンプ 7 で昇圧されてエゼクタ 6 に流入するようにされており、これにより、水素オフガスは、高圧水素タンク 4 から供給される新鮮な水素ガスと混合されて、再び燃料電池 1 のアノードに供給されるようになっている。

また、前記水素オフガス循環流路 20 は、前記水素ポンプ 7 の上流側で分岐しており、この分岐した分岐流路 29 には排出弁 25 が設けられている。この排出弁 25 が閉じられると、水素オフガス循環流路 20 の水素オフガスは上述したように水素ポンプ 7 を介して燃料電池 1 のアノードに供給される。一方、排出弁 25 が開かれると、水素オフガス循環流路 20 の水素オフガスは分岐流路 29 から排出弁 25 を介して燃料電池システムの外部にガス希釈装置（図示せず）を介して希釈された状態で排出される。

前記排出弁 25 や前記水素ポンプ 7、圧力制御弁 3、5、コンプレッサ 2 はそれぞれ ECU（Electric Control Unit）26 に接続されており、該 ECU 26 によりこれらの機器は制御される。また、前記 ECU 26 は、ポンプ消費電流検出センサ 27、セル電圧検出センサ 28 にそれぞれ接続されている。前記ポンプ消費電流検出センサ 27 は前記水素ポンプ 7 の駆動時における消費電流を検出するものであり、前記セル電圧検出センサ 28 は前記燃料電池 1 を構成するセルの電圧を検出するものである。これらのセンサ 27、28 で検出された電流や電圧が ECU 26 に送信される。

このように構成された燃料電池システムにおける始動時の制御について、図 4～図 7 を用いて説明する。

図 4 は図 1 に示した燃料電池システムの始動時における制御を示すフローチャ

ートである。ステップS10で、燃料電池1の発電指令が出されたことをECU26が検知すると、該ECU26は、ステップS12で水素ポンプ7を制御して、水素ポンプ7を駆動する。また、このとき排出弁25が開いていた場合には、ECU26は排出弁25を閉じる制御を行う。これにより、水素オフガス循環流路20中の水素オフガスは水素ポンプ7により昇圧されてエゼクタ6に流入し、水素ガス供給流路10を通して燃料電池1のアノードに供給される。

また、ステップS12の処理と並行して、ECU25は前記コンプレッサ2を作動させて、燃料電池1のカソードに空気を供給する。これにより、燃料電池1の各セルにて発電が開始される。

そして、ステップS14で、所定時間経過したかどうかの判定を行い、判定結果がNOの場合にはこの処理を継続して行い、判定結果がYESの場合にはステップS16の処理に進む。ステップS16では、前記セル電圧検出センサ28によりセル電圧V (volt) の検出を行う。そして、ステップS18で、検出したセル電圧Vが所定の電圧値V0 (volt) よりも大きいかどうかを判定し、判定結果がYESの場合には、ステップS20に進み、燃料電池1に接続された電子機器（図示せず）に対する電力供給を開始する。また、ステップS18において、判定結果がNOの場合には、ステップS14に戻って上述した一連の処理を行う。

このように、前記循環流路20に流れのない燃料電池1始動時においても、前記排出弁25を閉じた状態で水素ポンプ7を駆動することにより、オフガス中の未反応の水素ガスを前記燃料電池1に供給することができる。また、前記ポンプ7を駆動することにより循環流路20に水素ガスの流れを一旦作り出せば、前記エゼクタ6により前記循環流路20の水素オフガスを水素ガス供給流路10に送り込むことが可能となる。このように、前記ポンプ7は水素ガスの流れを作り出せるものであれば十分であるため、サイズの小型化を図ることができ、前記ポンプ7の運転に必要な電力を低減させることができる。これにより、燃料電池1の始動時などの前記循環流路20に流れのない場合においても、水素ガスを外部に放出することなく有効利用することができ、燃費を向上できる。

図5は図1に示した燃料電池システムの始動時における他の制御を示すフローチャートである。なお、上述した図4における処理と同様の処理については、同

一の番号を付している。図5において、ステップS10～ステップS18までの処理、ステップS18で判定結果がYESの場合が、図4に示した場合と同様であるため、説明を省略する。

ステップS18の判定結果がNOの場合（セル電圧VがV0より小さい場合）には、ステップS22に進み、排出弁25を開く制御を行う。発電を開始してから所定時間経過しているにも拘わらずセル電圧Vが所定値V0より小さい場合には、排出弁25を開くことにより前記オフガスを燃料電池システムの外部に排出する。この場合には、水素オフガス中の水素濃度が低いと考えられるためである。

そして、上述したステップS16、ステップS18と同様にして、ステップS24、ステップS26で、セルの電圧Vを検出し、この電圧Vが所定値V0より大きいかどうかの判定を行う。ステップS26の判定結果がNOであれば、再度ステップS24の処理に戻る。この場合には、水素濃度の低いオフガスが循環流路20中に残っていると考えられるためである。また、ステップS26の判定結果がYESの場合には、ステップS28に進み、排出弁25を閉じる。この場合には、水素濃度の低いオフガスが循環流路20中から十分排出されたと考えられるためである。そして、ステップS28の後は、上述したステップS20に進み、燃料電池1に接続された電子機器に対する電力供給を開始する。

このように、前記セル電圧検出センサ28により検出したセル電圧Vによりオフガス中の水素濃度を推定することができ、推定された水素濃度に基づいて排出弁25の開閉を行うため、オフガス中の水素を有効利用できるとともに、オフガス中の水素濃度が所定値より高い場合にのみ前記ポンプ7を駆動できるため、ポンプ7の駆動に必要な電力を低減でき、効率的な運転を行うことができる。

図6は図1に示した燃料電池システムの始動時における他の制御を示すフローチャートである。なお、上述した図4、図5における処理と同様の処理については、同一の番号を付している。図6において、ステップS10～ステップS14までの処理は、図4に示した場合と同様であるため、説明を省略する。

ステップS14で判定結果がYESの場合（所定時間経過したと判定された場合）には、ステップS30で、オフガス中の窒素濃度を算出する。この窒素濃度

の算出は、駆動中の水素ポンプ 7 の消費電流に基づいて行う。図 7 は図 6 の制御に使用される窒素濃度と水素ポンプ消費電流の関係を示すグラフである。同図に示したように、水素ポンプ 7 の回転数 N_e が一定の場合（例えば回転数 a (rpm)）には、水素ポンプ 7 の消費電流はオフガス中の窒素濃度にほぼ比例する。これは、窒素は水素に比べて比重が大きいいため、同じ回転数であっても、オフガス中の窒素濃度に応じて水素ポンプ 7 の回転に必要な仕事量が増えるためである。従って、回転数一定の場合における、水素ポンプ 7 の消費電流をポンプ消費電流検出センサ 27 にて検出すれば、図 6 から窒素濃度 X を算出することができる。

上述のようにして算出した窒素濃度 X が、ステップ S 32 で、所定の設定値 X_0 % より小さいかどうかを判定し、判定結果が YES の場合には、ステップ S 16 に進んでセルの電圧 V の検出を行う。この場合には、オフガス中に水素が十分あると考えられるためである。ステップ S 16 以降は、図 5 に示した処理と同様であるため説明を省略する。

また、ステップ S 32 で、判定結果が NO の場合には、ステップ S 22 に進んで排出弁 25 を開く処理を行う。この場合には、窒素濃度が高くオフガス中に水素があまりないと考えられるためである。上述したステップ S 22 以降は、図 5 に示した処理と同様であるため説明を省略する。

このように、前記負荷状態検出手段により検出した水素ポンプ 7 の負荷状態（この場合は消費電流）に応じて、水素オフガス中の不純ガス（水素ガス以外のガスであり、主に窒素ガス）の濃度を推定することができる。これにより、不純ガスの濃度が所定の濃度になった場合を水素ポンプ 7 の負荷状態から算出し、この場合に排出弁 25 を開くように制御することで、不純ガスの濃度の高いオフガスをパージすることができるとともに、このパージにより不純ガスがもたらす高い負荷状態を低減することができるため、水素ポンプ 7 を好適に保護することができる。

なお、燃料電池システムは、上述したものに限られず、例えば図 2、図 3 に示したように構成してもよい。図 2、図 3 は図 1 に示した燃料電池システムを変更した第 2 実施形態、第 3 実施形態を示す概略構成図である。これらの図に示した

ように、水素ポンプ7をエゼクタ6の下流側の水素ガス供給流路に設けてもよいし、エゼクタ6の下流側で20と10とを接続するバイパス流路30を設け、これに水素ポンプ7を設けてもよい。また、以上説明した実施形態においては、燃料として水素を用いたが、これに限らず他の燃料を用いてもよい。

発明の効果

以上説明したように、本発明の燃料電池システムによれば、燃料電池の始動時においても燃料ガスを外部に放出することなく有効利用することができ、燃費を向上できる。

本発明の他の燃料電池システムによれば、オフガス中の燃料を有効利用できるとともに、ポンプの駆動に必要な電力を低減できる効率的な運転を行うことができる。

本発明の他の燃料電池システムによれば、不純ガスの濃度の高いオフガスをパージすることができ、燃料ポンプを好適に保護することができる。

本発明の、燃料電池システムのための駆動方法によれば、排出弁を開いて循環流路に流れを起こすことによる無駄な燃料排出を抑え、燃料を有効に利用することができる。この駆動方法を燃料電池システムが搭載された車両に用いれば、燃料の有効利用により燃費を向上させることができる。

特許請求の範囲

1. 燃料ガスと酸化剤ガスとを供給されて発電を行う燃料電池と、
前記燃料電池に燃料ガスを供給する燃料ガス供給流路と、
前記燃料電池から排出される燃料オフガスを前記燃料ガス供給流路に戻す燃料オフガス循環流路と、
流体の流れによるエネルギーで駆動され、前記燃料ガス供給流路に設けられ前記燃料オフガス循環流路の燃料オフガスを燃料ガス供給流路に送り込むエゼクタと、
回転機により駆動され、前記燃料オフガス循環流路または燃料ガス供給流路の前記エゼクタ下流側に設けられて燃料オフガスを昇圧する燃料ポンプと、
前記燃料オフガスを前記燃料オフガス循環流路から排出する排出弁と、
前記燃料ポンプ及び前記排出弁に対して操作可能に接続された制御装置と、
を備える燃料電池システム。
2. 請求項1に記載の燃料電池システムであって、前記燃料電池を構成するセルの電圧を検出するために設けられ前記制御装置に接続された電圧検出手段をさらに備え、前記制御装置は、前記電圧検出手段にて検出したセルの電圧に基づいて、前記排出弁を開閉制御するように構成されている。
3. 請求項1に記載の燃料電池システムであって、前記燃料ポンプの負荷状態を検出するために設けられ前記制御装置に接続された負荷状態検出手段をさらに備え、前記制御装置は、前記負荷状態検出手段にて検出した負荷状態に応じて、前記排出弁を開閉制御するように構成されている。
4. 請求項2に記載の燃料電池システムであって、前記燃料ポンプの負荷状態を検出するために設けられ前記制御装置に接続された負荷状態検出手段をさらに備え、前記制御装置は、前記負荷状態検出手段にて検出した負荷状態に応じて、前記排出弁を開閉制御するように構成されている。

5. 燃料ガスと酸化剤ガスとを供給されて発電を行う燃料電池と、前記燃料電池に燃料ガスを供給する燃料ガス供給流路と、前記燃料電池から排出される燃料オフガスを前記燃料ガス供給流路に戻す燃料オフガス循環流路と、流体の流れによるエネルギーで駆動され、前記燃料ガス供給流路に設けられ前記燃料オフガス循環流路の燃料オフガスを燃料ガス供給流路に送り込むエゼクタと、回転機により駆動され、前記燃料オフガス循環流路または燃料ガス供給流路の前記エゼクタ下流側に設けられて燃料オフガスを昇圧する燃料ポンプと、前記燃料オフガスを前記燃料オフガス循環流路から排出する排出弁と、前記燃料ポンプ及び前記排出弁に対して操作可能に接続された制御装置と、を備えた燃料電池システムのための駆動方法であって、

前記燃料電池の始動時に前記排出弁を閉鎖する段階と、

前記排出弁が閉鎖状態にあるときに前記燃料ポンプを駆動する段階と、を含む。

6. 請求項5に記載の駆動方法であって、前記燃料電池システムは、前記燃料電池を構成するセルの電圧を検出する電圧検出手段をさらに備え、該駆動方法はさらに、

前記燃料電池の始動後所定時間経過時点において、前記電圧検出手段にて検出したセル電圧が所定値以下である場合に前記排出弁を開弁する段階と、

前記排出弁の開弁後、前記セル電圧が前記所定値を超えた場合に前記排出弁を閉鎖する段階と、を含む。

7. 請求項5に記載の駆動方法であって、前記燃料電池システムは、前記燃料オフガス中の窒素濃度を検出する窒素濃度検出手段と、前記燃料電池を構成するセルの電圧を検出する電圧検出手段と、をさらに備え、該駆動方法はさらに、

前記燃料電池の始動後所定時間経過時点において、前記窒素濃度検出手段にて検出した窒素濃度が所定値以上である場合に前記排出弁を開弁する段階と、

前記排出弁の開弁後、前記電圧検出手段にて検出したセル電圧が所定値を超え

た場合に前記排出弁を閉鎖する段階と、を含む。

8. 請求項7に記載の駆動方法であって、前記窒素濃度検出手段は、前記燃料ポンプの負荷状態を検出する負荷状態検出手段を備えている。

要 約 書

水素ガスと酸化剤ガスとを供給されて発電を行う燃料電池と、前記燃料電池に水素ガスを供給する水素ガス供給流路と、前記燃料電池から排出される水素オフガスを前記水素ガス供給流路に戻す水素オフガス循環流路と、前記水素ガス供給流路に設けられ前記水素オフガス循環流路の水素オフガスを水素ガス供給流路に送り込むエゼクタと、前記水素オフガス循環流路または水素ガス供給流路のエゼクタ下流側に設けられて水素オフガスを昇圧する水素ポンプと、前記水素オフガスを前記水素オフガス循環流路から排出する排出弁と、前記燃料ポンプ及び前記排出弁に対して操作可能に接続された制御装置と、を備えた燃料電池システムである。